Iranian Food Science and Technology Research Journal
Homepage: https://ifstrj.um.ac.ir

Research Article
Vol. 21, No. 1, Mar.-Apr., 2025, p. 119-132

The Effect of L-glutathione Postharvest Treatment on the Physicochemical Characteristics of Sabrina Strawberry Fruit during Cold Storage

K. Manda-Hakki[1*], H. Hassanpour[2]

1 and 2- Ph.D. Student and Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: Karim.manda1995@gmail.com)

Received: 19.10.2024 Revised: 23.11.2024 Accepted: 01.12.2024 Available Online: 16.02.2024	**How to cite this article:** Manda-Hakki, K., & Hassanpour, H. (2025). The effect of L-glutathione postharvest treatment on the physicochemical characteristics of Sabrina strawberry fruit during cold storage. *Iranian Food Science and Technology Research Journal, 21*(1), 119-132. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.90319.1375

Introduction

Due to the high rate of respiration, strawberry is prone to water loss, mechanical damage and fungal decay post-harvesting, which may reduce its shelf life (Yan *et al.*, 2019). Food waste is an important global challenge that estimated about 30% of the world's agricultural land. Every year, about 9.5 million tons of food is lost in the post-harvest phase of agriculture crops (Bishop *et al.*, 2021). Post-harvest storage of strawberry at low temperature without using other combined treatments may reduce its shelf life due to its highly perishable nature. Therefore, in addition to low temperature storage, other post-harvest techniques have also been reported to increase the shelf life of strawberry fruits after harvest. One of these techniques is using chemicals (Kahramanoglu *et al.*, 2019).Glutathione is present in various plant tissues in concentrations of 2 to 3 mM and plays an important role in many cellular processes such as cell differentiation, enzyme regulation, cell signaling and cell death and acts as an antioxidant. (Diaz-Vivancos *et al.*, 2015). During the experiment, spraying GSH on strawberry plants increased the amount of total flavonoids and ascorbic acid in the harvested fruits, and the results showed that the application of GSH can increase the shelf life of strawberries. (Ge *et al.*, 2019). It has been reported that application of glutathione after harvesting okra has reduced browning and prevented its weight loss, which has created a suitable market for it, also GSH has increased the level of total phenol and the activity of ascorbate peroxidase enzyme and reduced the level of ROS and malondialdehyde, which can increase the shelf life of okra in cold storage after harvesting (Li *et al.*, 2023).

Materials and Methods

Sabrina strawberry fruit was obtained from a commercial greenhouse located in Urmia in the full maturity stage. The fruits were transported to the laboratory of Horticultural Sciences Department of Urmia University, observing the necessary precautions to prevent mechanical damage. The fruits were separated in terms of size and uniformity, so that the fruits were divided into 5 groups of 15, one group as a control group and 4 groups treated with different concentrations of L-glutathione (4, 16, 32 and 64 mM respectively). After drying, the treated fruits were placed in zipped nylon bags and stored for 15 days in a cold room at ± 0.5 °C and a relative humidity of 90-95%. Also, three biological replicates at each time interval were included in the analysis. Samples obtained at each of specified time were placed to evaluate skin color, titratable acidity, soluble solids, taste index, pH, weight loss, total antioxidant capacity, total phenol content, and polyphenol oxidase enzyme activity.

Results and Discussion

The results of variance analysis showed that the effect of GSH treatment after harvesting, the effect of storage and the interaction between them differently affect each of the studied indicators. In terms of color, no significant

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.90319.1375

effect was found. The effect of storage ($p \leq 0.01$) and post-harvest treatment ($p \leq 0.05$) were significant on TA trait and its highest value was observed in 10 days of storage with 32 mM. In terms of antioxidant capacity ($p \leq 0.05$) and PPO activity ($p \leq 0.01$), the effect of GSH treatment after harvest was significant, and the highest amount was observed in 16 and 64 mM treatment, respectively. Also, the effect of storage time ($p \leq 0.05$) and the effect of GSH treatment after harvesting ($p \leq 0.01$) were significant in the trait of total phenol content, and the highest amount was observed in 15 days of storage and 64 mM treatment. However, both the storage ($p \leq 0.01$) and the post-harvest GSH treatment ($p \leq 0.05$) effects on fruit weight reduction were significant and the lowest weight loss was observed in 5 days of storage and 64 mM treatment. There were no significant changes in indices such as TSS, taste index and pH.

Conclusion

According to the obtained results, the treatment of 64 mM GSH is the best concentration of GSH to increase the shelf life of harvested strawberry fruits in cold storage.

Author Contributions

Manda-Hakki: conceptualization, data management, financing, research and review, resources, validation, visualization, writing-main draft, **Hassanpour:** formal analysis, methodology, project management, software, supervision, Writing - review and editing

Funding Sources

Part of this project was financially supported by Urmia University.

Acknowledgement

We appreciate and thank all those who were with us in this project, especially the officials of Horticulture Laboratory, Faculty of Agriculture, Urmia University.

Keywords: Antioxidant, Polyphenol oxidase, Storage, Total phenol

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
https://ifstrj.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۴، ص. ۱۳۲-۱۱۹

تأثیر تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا در طی انبار سرد

کریم منداحکی[1*]- حمید حسن‌پور[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱

چکیده

توت‌فرنگی میوه‌ای محبوب با طعم لذیذ و دارای منبع مهمی از مواد مغذی از قبیل مواد معدنی، ویتامین‌ها و پلی فنل‌ها است که حفظ این ویژگی‌ها در شرایط پس از برداشت از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در پژوهش حاضر اثر تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون (GSH) در غلظت‌های (صفر، ۴، ۱۶، ۳۲ و ۶۴ میلی‌مولار) و زمان انبارمانی (۵، ۱۰ و ۱۵ روز) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا طی مدت انبارمانی به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج، بالاترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در تیمار ۳۲ میلی‌مولار (۱/۲۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن میوه) و در روز دهم (۱/۲۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن میوه)، بالاترین میزان موادجامد محلول در تیمار ۶۴ میلی‌مولار (۱۰ درصد)، کمترین میزان کاهش وزن در تیمار ۶۴ میلی‌مولار (۱/۲۷ درصد) و در روز پنجم (۱/۱۲ درصد)، بالاترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار ۱۶ میلی‌مولار (۶۹/۹۵ درصد)، بالاترین محتوای فنل کل در تیمار ۶۴ میلی‌مولار (میلی‌گرم ا سید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه ۷۶۴/۱۸) و در روز ۱۵ام (میلی‌گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه ۷۱۹/۱۴) و بالاترین میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO) در تیمار ۶۴ میلی‌مولار (۳۶۰ واحد در دقیقه در ۱۰۰ گرم وزن میوه) مشاهده شد. بطور کلی نتایج نشان داد که تیمار ۶۴ میلی‌مولار ال-گلوتاتیون با تأثیر مثبت بر سیستم آنتی‌اکسیدانی و حفظ شاخص‌های مناسب توت‌فرنگی می‌تواند مناسب‌ترین تیمار باشد.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، انبارمانی، پلی‌فنل اکسیداز، فنل کل

مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa*) از خانواده Rosaceae می‌باشد، این میوه یک میوه محبوب با مواد مغذی غنی و طعم لذیذ است (Chang *et al.*, 2023). این میوه نرم با طعم و عطر مناسب دارای منبع مهمی از مواد مغذی ارتقاءدهنده سلامتی مانند مواد معدنی، ویتامین‌ها و پلی‌فنل‌ها است که برای مصرف‌کنندگان جذاب می‌باشد (Vallarino *et al.*, 2018). این میوه‌ها همچنین دارای مقادیر بالایی از متابولیت‌های ثانویه متنوع هستند که به ظاهر، طعم و عطر آن‌ها کمک فراوانی می‌کنند (Pott *et al.*, 2019). علاوه بر این، توت‌فرنگی به‌دلیل طعم متمایز و مواد فرار فراوانش ارزش بالایی دارد. انواع و غلظت عطرها در توت‌فرنگی با مدت زمان نگهداری کاهش می یابد (Baldwin *et al.*, 2023). با این حال، در مرحله بعد از برداشت توت‌فرنگی بسیار مستعد فساد است و برای نگهداری و حمل و نقل طولانی مدت مناسب نیست زیرا مستعد نرم شدن بافت، فساد و قهوه‌ای شدن می‌باشد. بر اساس مطالعات احتمال پوسیدگی میوه‌های توت‌فرنگی در مرحله‌ی پس از برداشت حدود ۴۰ درصد است (Ren *et al.*, 2023). ضایعات مواد غذایی یک چالش مهم جهانی می‌باشد که حدود ۳۰ درصد از مساحت زمین کشاورزی جهان در حال هدر رفتن است. هر سال حدود ۹/۵ میلیون تن غذا در مرحله پس از برداشت کشاورزی از بین می‌رود (Bishop *et al.*, 2021). بنابراین، فناوری

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Karim.manda1995@gmail.com)

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.90319.1375

انبارمانی برای افزایش ماندگاری، حفظ تغذیه و حفظ طعم کالاهای تازه بسیار دارای اهمیت می‌باشد (Brizzolara *et al.*, 2020; Holler *et al.*, 2023). نگهداری در دمای کم بدون استفاده از سایر تیمارهای ترکیبی به‌دلیل ماهیت فاسدشدنی بالای میوه‌های توت‌فرنگی، ماندگاری آن را در سردخانه کم می‌کند. بنابراین، علاوه بر انبارمانی در دمای کم، سایر تکنیک‌های پس از برداشت نیز برای افزایش عمر انبارمانی میوه‌های توت‌فرنگی پس از برداشت گزارش شده است. یکی از این تکنیک‌ها، بکار بردن مواد شیمیایی می‌باشد (Kahramanoglu, 2019). در سال‌های اخیر، واکنش اسیدهای آمینه و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه به‌طور گسترده در میوه‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. به همین ترتیب، بسیاری از محققان نشان داده‌اند که ویژگی‌های بسیاری از میوه‌ها را می‌توان به راحتی با اسیدهای آمینه مختلف و تنظیم کننده‌های رشد بهبود بخشید (Drobek *et al.*, 2019). اسیدهای آمینه به‌عنوان مولکول‌های واسطه هورمون‌های گیاهی درون‌زا، به سنتز پروتئین کمک می‌کنند و تأثیر کمپلکس‌کننده‌ای بر مواد مغذی دارند (Taiz *et al.*, 2017).

گلوتاتیون (GSH)، فراوان‌ترین تیول حاوی پپتید با وزن مولکولی کم می‌باشد که به‌طور گسترده در سلول‌های گیاهان و جانوران توزیع شده است و یک ماده فعال مهم در گیاهان است که می‌تواند رادیکال‌های آزاد موجودات زنده را مهار کند. همچنین یکی از مؤثرترین حذف‌کننده‌ها برای فرآیندهای متابولیک درون سلولی و پراکسیدهای تولید شده توسط گیاهان تحت تنش اکسیداتیو می‌باشد (Li *et al.*, 2010). امروزه، گلوتاتیون یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی و بخش مهمی از چرخه آسکوربات-گلوتاتیون است، فرآیندی که سطوح پراکسید هیدروژن را در سلول‌های گیاهی کنترل می‌کند، همچنین دارای فعالیت بیولوژیکی در برابر تنش زیستی است (Hu *et al.*, 2014; Kuzniak & SkLodowska, 2004). گلوتاتیون در بافت‌های مختلف گیاهی در غلظت‌های ۲ تا ۳ میلی‌مولار وجود دارد و نقش مهمی در بسیاری از فرآیندهای سلولی مانند تمایز سلولی، تنظیم آنزیمی، سیگنال‌دهی سلولی و مرگ سلولی ایفا می‌کند و به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل می‌کند (Diaz_Vivancos *et al.*, 2015). در پژوهشی، محلول‌پاشی گلوتاتیون بر روی بوته‌های توت‌فرنگی باعث افزایش میزان فلاونویید کل و میزان اسید آسکوربیک در میوه‌های برداشت شده آن شد، و نتایج نشان داد که کاربرد گلوتاتیون می‌تواند باعث افزایش عمر انبارمانی توت‌فرنگی گردد (Ge *et al.*, 2019). گزارش شده است که کاربرد پس از برداشت گلوتاتیون در بامیه باعث کاهش قهوه‌ای شدن و جلوگیری از کاهش وزن آن شده است که سبب ایجاد بازارپسندی مناسب برای آن گردیده، همچنین گلوتاتیون باعث افزایش سطح فنل کل و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز و کاهش سطح ROS و مالون دی آلدئید شده که می‌تواند عمر پس از برداشت بامیه در سردخانه را افزایش دهد (Li *et al.*, 2023). در مطالعه‌ای دیگر طی محلول‌پاشی گلوتاتیون روی فلفل دلمه‌ای برداشت شده در انبار مشاهده گردید که سطوح مالون‌دی‌آلدئید و رادیکال‌های آزاد در فلفل‌ها کاهش یافته و باعث افزایش عمر انبارمانی این میوه گردید (Yao *et al.*, 2021). همچنین در آزمایشی بر روی فلفل‌های برداشت شده، محلول‌پاشی گلوتاتیون با غلظت‌های مختلف انجام شد که غلظت یک میلی‌مولار گلوتاتیون استفاده شده باعث کاهش سطح مالون دی آلدئید و پراکسید هیدروژن شد و همچنین باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر سوپر اکسید دسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز، گردید که در نتیجه باعث افزایش عمر پس از برداشت فلفل شد (Ramzan *et al.*, 2020). با توجه به اهمیت تغذیه‌ای توت‌فرنگی و عمر انبارمانی کم آن نیاز به استفاده از روش‌هایی جهت افزایش عمر پس از برداشت و حفظ خصوصیات بیوشیمیایی آن ضروری می‌باشد، علی‌رغم اینکه گلوتاتیون اثرات مثبتی بر عمر پس از برداشت و خصوصیات بیوشیمیایی میوه‌ها و سبزیجات دارد، اما با توجه به اطلاعات ما تاکنون گزارشی مبنی بر استفاده از این ترکیب و اثرات آن بر فیزیولوژی پس از برداشت توت‌فرنگی ارائه نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش ارزیابی و بررسی تأثیر کاربرد پس از برداشت گلوتاتیون بر ماندگاری و حفظ خصوصیات بیوشیمیایی و کیفی این میوه می‌باشد تا در آینده به‌عنوان یک روش و یک تیمار مناسب در محصولات برداشت شده استفاده شود.

مواد و روش‌ها

تهیه و تیمار میوه‌ها

میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا مورد آزمایش در این پژوهش از یک گلخانه تجاری واقع در ارومیه در مرحله بلوغ و رسیدگی کامل تهیه شد. میوه‌ها با احتیاط لازم جهت جلوگیری از وقوع هر گونه آسیب مکانیکی، به آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه ارومیه منتقل شدند. میوه‌ها از نظر اندازه و یکنواختی تفکیک گردیده، بطوری‌که میوه‌ها به ۵ گروه ۱۵ عددی تقسیم شده یک گروه به‌عنوان گروه شاهد و ۴ گروه به‌ترتیب با غلظت‌های ال-گلوتاتیون (۴، ۱۶، ۳۲ و ۶۴ میلی‌مولار) تیمار شدند. بعد از خشک شدن میوه‌های تیمار شده در دمای اتاق، آن ها در داخل کیسه‌های نایلونی زیپ‌دار قرار داده شده و به‌مدت ۱۵ روز در دمای ۰/۵ ± ۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵–۹۰ درصد در سردخانه نگهداری شدند. همچنین سه تکرار بیولوژیکی در هر نقطه زمانی در آنالیز گنجانده شد. نمونه‌های بدست آمده در هر یک از این زمان‌ها جهت ارزیابی رنگ پوست میوه، اسیدیته قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول، شاخص طعم، pH، کاهش وزن، سفتی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی،

محتوای فنل کل و فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز مورد استفاده قرار گرفتند.

ارزیابی صفات مورد آزمایش

رنگ پوست میوه

تغییرات رنگ پوست با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (CHROMA METER CR-400) ساخت ژاپن در دو نقطه‌ی پوست میوه اندازه‌گیری شد. در این روش مقادیر L^*، a^*، b^*، Hue angle = arctan (b*/a*) و Chroma=(a*2+b*2)$^{*1/2}$ اندازه‌گیری شدند (Pathare *et al.*, 2013).

اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)

برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون از روش (Erkan & Selcuk, 2015) با کمی تغییر استفاده شد. همزمان با قرائت pH، عمل تیتراسیون توسط هیدروکسید سدیم (NaOH) ۰/۱ نرمال تا زمانی که pH عصاره به عدد ۸/۲ برسد انجام شد. بر اساس مقدار هیدروکسید سدیم مصرفی در جریان تیتراسیون مقدار اسید موجود در عصاره میوه به‌صورت میلی‌گرم اسید سیتریک در ۱۰۰ گرم محاسبه شد:

TA=(S×N×F×E/C)×100

در این رابطه TA: مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون، S: مقدار NaOH مصرفی، N: نرمالیته، F: فاکتور NaOH، C: مقدار عصاره میوه، E: اکی والان اسید سیتریک

مواد جامد محلول (TSS)

برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول از رفراکتومتر دستی مدل (ATAGO) استفاده شد (Jalili Marandi, 2013). همچنین شاخص طعم هر نمونه نیز از طریق مقدار مواد جامد محلول (TSS) بر اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) بدست آمد (Pelayo-zaldivar, 2005). میزان pH آبمیوه نیز با دستگاه pH متر دیجیتالی مدل (pH-Mtere CG 824) اندازه‌گیری شد.

کاهش وزن

برای اندازه‌گیری درصد کاهش وزن میوه‌ها، قبل از قرار دادن میوه‌ها در انبار و در روز پنجم، دهم و پانزدهم وزن آنها با استفاده از ترازوی دیجیتالی (مدل ۳۰۰ CANDGL) اندازه‌گیری و درصد کاهش وزن با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (Meng *et al.*, 2007).

$$\text{درصد کاهش وزن میوه} = \frac{\text{وزن میوه قبل از انبار کردن}_\text{وزن میوه پس از انبار کردن}}{\text{وزن میوه قبل از انبار کردن}} \times 100$$

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

جهت اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از رادیکال آزاد (DPPH 2,2-Diphenyl- picryl- Hydtazyl) استفاده شد. برای اندازه‌گیری توانایی عصاره‌ها در مهار رادیکال‌های آزاد، ۵۰ میکرولیتر از عصاره آماده شده را با ۱۹۵۰ میکرولیتر DPPH مخلوط کرده و سپس نمونه‌ها ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شدند و جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شده و بر اساس فرمول زیر با درصد بازدارندگی محاسبه گردید (Nakajima *et al.*, 2004).

درصد مهار رادیکال= (Ablank_Asample /Ablank) ×100

که در این فرمول A blank; جذب نمونه شاهد و A sample ; جذب نمونه‌ها می‌باشد.

محتوی فنل کل

برای اندازه‌گیری محتوای فنل کل به ۳۰ میکرولیتر از عصاره، ۶۰۰ میکرولیتر معرف فولین‌سیوکالتو ۱۰ درصد و ۹۰ میکرولیتر آب مقطر اضافه شد. بعد از گذشت ۶ دقیقه ۴۸۰ میکرولیتر کربنات‌سدیم ۷/۵ درصد به آن اضافه گردید و حجم نهایی به ۱۲۰۰ میکرولیتر رسانده شد (Du *et al.*, 2009). سپس نمونه‌ها به‌مدت ۱/۵ لی ۲ ساعت در محل تاریکی در دمای اتاق نگهداری شدند. بعد از این مدت جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (Dynamica HALO DB_20) قرائت گردید. نتایج بر حسب میلی‌گرم معادل اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه بیان شد.

فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO)

تهیه عصاره آنزیمی: هموژن حاصل از خیساندن و خرد کردن ۵۰۰ میکرولیتر از آبمیوه تهیه شده در ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار pH=7.5 متشکل از ۱ درصد پلی‌وینیل پیرولیدون (pvp) و ۱ میلی‌مولار EDTA به‌عنوان یک عصاره آنزیمی برای ارزیابی آنزیم استفاده شد. عصاره بدست آمده پس از سانتریفیوژ به‌مدت ۱۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمایش نگهداری شد (Bradford, 1976).

برای سنجش فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز (PPO) از روش (Pizzocaro *et al.*, 1993) بر اساس اکسیداسیون کاتکول استفاده شد. ۲/۵ میلی‌لیتر ماده بافری را به ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی اضافه کرده و پس از قرار دادن به‌مدت ۵ دقیقه در بن‌ماری در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، منحنی تغییرات جذب در طول موج ۴۰۰ نانومتر به‌مدت سه دقیقه اندازه‌گیری شد. یک واحد فعالیت آنزیمی عبارت از میزان تغییر PPO به مقدار ۰/۰۰۱ در دقیقه در یک میلی‌لیتر از عصاره آنزیم بود.

$$\text{فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (واحد در دقیقه در ۱۰۰ گرم وزن تر)} = \frac{\Delta A \times 1000}{0/001 \times 25}$$

ΔA= اختلاف جذب

۲۵= میزان گرم آنزیم به کار رفته

طرح آماری و آنالیز داده‌ها

پژوهش حاضر بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار و در هر تکرار ۱۵ میوه در هر تکرار انجام شد. فاکتور اول غلظت‌های مختلف ال-گلوتاتیون در پنج سطح ۰، ۴، ۱۶، ۳۲ و ۶۴ میلی‌مولار و فاکتور دوم زمان انبارمانی در سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ روز بود. داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و برای مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطوح ۵ و ۱ درصد استفاده شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به تجزیه واریانس صفات نشان داد که تیمار ال-گلوتاتیون تأثیر معنی‌داری بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در سطح احتمال آماری (۵ درصد)، درصد کاهش وزن (۱ درصد)، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۵ درصد)، محتوای فنل کل (۱ درصد) و میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (۱ درصد) داشته است. همچنین زمان انبارمانی نیز تأثیر معنی‌داری بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در سطح آماری (۱ درصد)، درصد کاهش وزن (۱ درصد) و محتوای فنل کل (۵ درصد) داشته است. همچنین مشاهده شد که تیمارها اثر معنی‌داری بر تغییرات رنگ، مواد جامد محلول، شاخص طعم، pH و سفتی نداشتند (جدول ۱). در ضمن مقادیر این صفات در زمان صفر انبارمانی در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد پس از برداشت ال-گلوتاتیون بر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی توت‌فرنگی سابرینا در طول نگهداری در سردخانه

Table 1- Results of variance analysis of the effect postharvest L-glutathione application on the physicochemical characteristics of Sabrina strawberry during cold storage

منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares a*	b*	L*	Hue	Chroma
ال-گلوتاتیون (L-glutathione)	4	11.29^{ns}	8.05^{ns}	13.34^{ns}	25.92^{ns}	14.52^{ns}
زمان انبارمانی (Storage time)	2	4.2^{ns}	1.88^{ns}	4.96^{ns}	8.58^{ns}	10.87^{ns}
ال-گلوتاتیون × زمان انبارمانی (L-glutathione× Storage time)	8	7.52^{ns}	2.32^{ns}	4.18^{ns}	1.52^{ns}	19.55^{ns}
خطا Error	30	13.34	4.03	6.32	14.4	24.73
ضریب تغییرات (٪) (CV)	-	12.67	15.58	8.34	15.62	16.06

ns، *و **: بدون تفاوت معنی دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصدبه ترتیب عدم تفاوت معنی

^{ns},* and **: No significant difference and significant difference at the probability level of 5 and 1 percent, respectively.

ادامه جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد پس از برداشت ال-گلوتاتیون بر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی توت‌فرنگی سابرینا در طول نگهداری در سردخانه

The continuation of Table 1- Results of variance analysis of the effect postharvest L-glutathione application on the physicochemical characteristics of Sabrina strawberry during cold storage

منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)	مواد جامد محلول (TSS)	شاخص طعم (TSS/TA)	pH
ال-گلوتاتیون (L-glutathione)	4	0.04*	2.98^{ns}	0.9^{ns}	0.002^{ns}
زمان انبارمانی (Storage time)	2	0.18**	1.4^{ns}	2.6^{ns}	0.024^{ns}
ال-گلوتاتیون × زمان انبارمانی (L-glutathione× Storage time)	8	0.034^{ns}	1.16^{ns}	2.07^{ns}	0.013^{ns}
خطا Error	30	0.016	1.28	1.23	0.036
ضریب تغییرات (٪) (CV)	-	11	12.9	14.6	4.62

ns، * و **: به‌ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns},* and **: No significant difference and significant difference at the probability level of 5 and 1 percent, respectively.

ادامه جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد پس از برداشت ال-گلوتاتیون بر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی توت‌فرنگی سابرینا در طول نگهداری در سردخانه

The continuation of Table 1- Results of variance analysis of the effect postharvest L-glutathione application on the physicochemical characteristics of Sabrina strawberry during cold storage

منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی (Degree of freedom)	میانگین مربعات (mean squares) کاهش وزن میوه Fruit weight loss	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی Anti-oxidant capacity	فنل کل Total phenol	پلی‌فنل اکسیداز PPO
ال-گلوتاتیون (L-glutathione)	4	0.223**	270.07*	24926.9**	90943.8**
زمان انبارمانی (Storage time)	2	2.26**	76.31^{ns}	1252.2*	7789.01^{ns}
ال-گلوتاتیون × زمان انبارمانی (L-glutathione× Storage time)	8	0.050^{ns}	67.45^{ns}	1518.4^{ns}	9472.5^{ns}
خطا Error	30	0.027	98.35	3399.4	8674.06
ضریب تغییرات (٪) (CV)	–	10.71	16.82	8.5	45.35

ns، * و **: به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns},* and **: No significant difference and significant difference at the probability level of 5 and 1 percent, respectively.

جدول ۲- نتایج برخی از صفات کیفی میوه توت‌فرنگی سابرینا در زمان برداشت

Table 2- The results of some quality traits of Sabrina strawberry fruit at harvest time

Attributes صفات											
a*	b*	L*	Hue	Chroma	اسیدیته تیتراسیون (TA) (mg.100g FW)	مواد جامد محلول (TSS) (٪)	شاخص طعم (TSS/TA)	pH	ظرفیت آنتی-اکسیدانی (Anti-oxidant capacity) (٪)	فنل کل (Total Phenol) (mg GA.100^{-1}.FW)	پلی‌فنل اکسیداز (PPO) (U.min.100 g FW)
2.98	1.01	2.84	2.39	31.8	1.18	8.33	6.98	3.3	60.99	772.7	320

رنگ میوه

رنگ میوه یک شاخص کیفی مهم بازارپسندی می‌باشد. بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون و مدت زمان انبارمانی و همچنین برهمکنش بین تیمار و مدت انبارمانی بر هیچ یک از شاخص‌های تغییرات رنگ اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). این نتایج نشان‌دهنده این می‌باشد که تیمار ال گلوتاتیون می‌تواند باعث حفظ رنگ میوه در طول انبارمانی شود و تغییر و کاهش رنگ آن معنی‌دار نبوده است.

اسیدیته قابل تیتراسیون

مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون میوه در شروع انبارمانی (۱/۱۸۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه) بود (جدول ۲). با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس، تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون و مدت زمان انبارمانی به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد اثر معنی‌داری داشتند (شکل ۱). در پایان دوره انبارمانی بیشترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در تیمار ۳۲ میلی‌مولار و در روز ۱۰ انبارمانی مشاهده شد.

اسیدها بعنوان منبع اندوخته مهمی از انرژی میوه می‌باشند که در هنگام رسیدن با افزایش سوخت و ساز مصرف می‌شوند (Jalili Marandi, 2016). اسیدیته میوه یک ویژگی مهم در تعیین کیفیت آن است و اسیدهای قابل تیتراسیون ارتباط مستقیم با غلظت اسیدهای ارگانیک موجود در میوه دارند (Akhtar *et al.*, 2010). کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون در زمان انبارمانی به‌دلیل تغییرات متابولیکی میوه ناشی از مصرف شدت اسیدهای آلی در فرایند تنفس می‌باشد (Akhond *et al.*, 2022). اسیدهای آلی به هنگام رسیدن میوه در نتیجه تنفس و نیز تبدیل شدن به قندها کاهش می‌یابند و این کاهش رابطه مستقیم با فعالیت‌های متابولیکی دارد. در واقع اسیدهای آلی به‌عنوان یک منبع ذخیره و مهم برای میوه عمل می‌نماید و هنگام رسیدن آن، با افزایش سوخت و ساز مصرف می‌شوند (Getenit *et al.*, 2008). اسیدهای آمینه از کاهش اسید تیتراسیون در طول دوره انبارمانی در میوه‌ها به‌دلیل کاهش تنفس جلوگیری نمودند و نرخ تنفس پایین در نهایت از مصرف اسیدهای آلی جلوگیری می‌نماید (Gohari *et al.*, 2021). گزارش شده است که کاربرد فنیل‌آلانین در گوجه‌فرنگی سبب تحمل به سرمازدگی

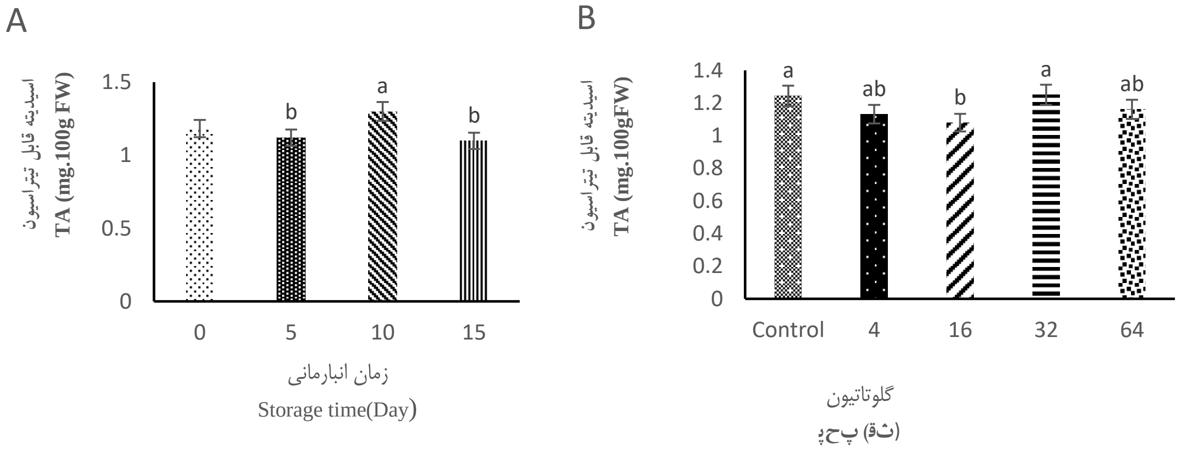
و بهبود اسیدیته شده و همچنین سطح آنتی‌اکسیدانی را نیز طی انبارمانی حفظ کرده است (Aghdam *et al.*, 2019).

مواد جامد محلول

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل مابین تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون و مدت زمان انبارمانی در سطح احتمال ۵ درصد اثر معنی‌داری بر TSS میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا در طی ۱۵ روز انبارمانی در سردخانه داشت. تیمار ۶۴ میلی‌مولار ال-گلوتاتیون نسبت به سایر تیمارها افزایش TSS بیشتری را نشان داد (شکل ۲). مواد جامد محلول از شاخص‌های کیفی مهم می‌باشد که رابطه بالایی با ساختار میوه دارد. میوه حاوی قندهایی مانند نشاسته، گلوکز، فروکتوز و ساکارز می‌باشد که مقادیر بالای این قندها در دوره رسیدن میوه و پس از برداشت به‌دلیل هیدرولیز نشاسته افزایش می‌یابد (Davarpanah *et al.*, 2013). افزایش TSS هم به‌دلیل شکسته شدن کربوهیدرات‌ها، مواد پکتیکی، هیدرولیز پروتئین‌ها و تجزیه قندها به واحدهای کوچکتر در طی فرآیند تنفس اتفاق می‌افتد و همچنین به‌دلیل شکسته شدن پلی ساکاریدهای دیواره سلولی (سلول، همی سلولز و پکتین) و تبدیل شدن آن به قندهای محلول صورت می‌گیرد و هر عاملی که از شکستن دیواره سلولی جلوگیری نماید و یا آن را کاهش دهد باعث جلوگیری از افزایش غیر عادی TSS خواهد شد (Hazbavi *et al.*, 2013). تحقیقات انجام شده نشان داد که در طول مدت زمان انبارمانی در میوه انار رقم ملس ساوه، TSS میوه افزایش یافت و تیمار فنیل‌آلانین باعث حفظ مواد جامد محلول میوه شد (Keshavarz, 2018).

شاخص طعم و pH

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون و مدت زمان انبارمانی و همچنین برهمکنش بین تیمار و مدت انبارمانی بر هیچ یک از شاخص‌های طعم و pH اثر معنی‌داری نداشته است و مقدار هر یک ازاین شاخص‌ها در شروع انبارمانی به‌ترتیب ۶٫۹۸ و ۳٫۳۳ درصد بود.

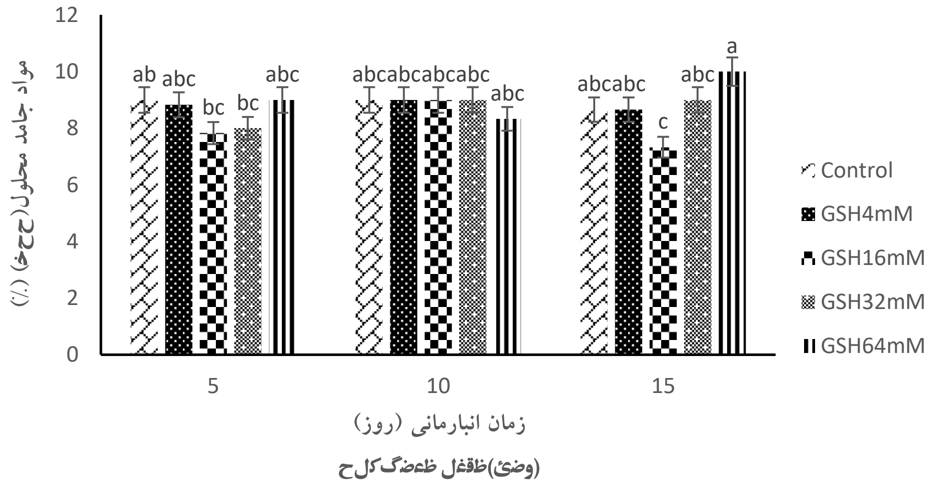


شکل ۱- مقایسه میانگین اثر زمان انبارمانی (A) و تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون (B) بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون میوه توت‌فرنگی سابرینا در طول ۱۵ روز انبارمانی

Fig. 1. Comparison of the average effect of storage time (A) and L-glutathione post-harvest treatment (B) on TA of Sabrina strawberry fruit during 15 days of storage

کاهش وزن

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون و مدت زمان انبارمانیی در سطح احتمال ۱ درصدی اثر معنی‌داری بر کاهش وزن میوه توت‌فرنگی سابرینا داشتند. لازم به ذکر است که اثر متقابل مابین تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون و مدت زمان انبارمانی اثر معنی‌داری بر درصد کاهش وزن میوه‌ها نداشت. کمترین کاهش وزن در روز ۵ و در تیمار ۶۴ میلی‌مولار ال-گلوتاتیون مشاهده شد (شکل ۳). وزن میوه یکی از شاخص‌های مهم کیفیت میوه می‌باشد که به مرور زمان با توجه به شرایط نگهداری کاهش می‌یابد. در دوره پس از برداشت دو عامل مهم باعث از دست دادن آب و کاهش وزن محصول می‌شود: نخست قطع شدن رابط آبی میوه با گیاه مادری و دوم افزایش تعرق از سطح میوه که یک فرایند فیزیولوژیکی می‌باشد و منجر به از دست دادن رطوبت محصول می‌گردد (Treviño Garza *et al.*, 2015).



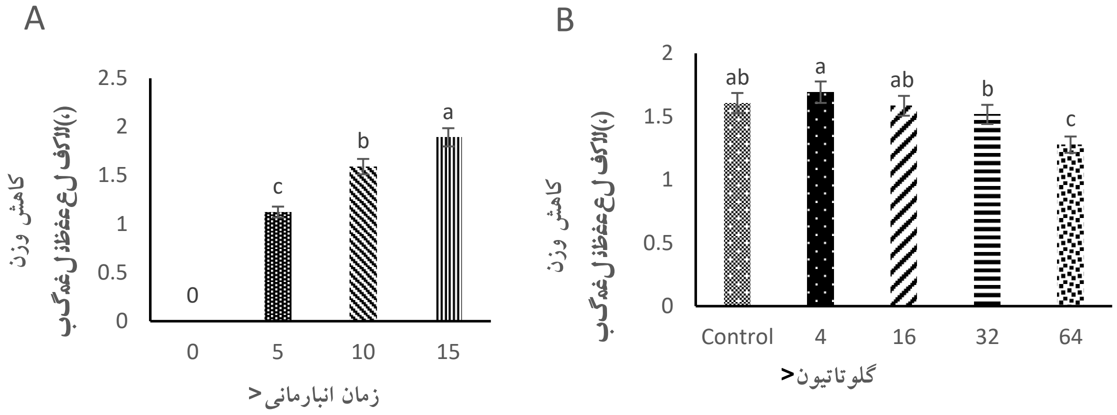
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل بین تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون و مدت زمان انبارمانی بر مواد جامد محلول کل میوه توت‌فرنگی سابرینا در طول ۱۵ روز انبارمانی

Fig. 2. Comparison of the mean interaction effect between L-glutathione post-harvest treatment and storage time on the total soluble solids of Sabrina strawberry fruit during 15 days of storage

همچنین کاهش وزن میوه یک شاخص مهم است که میزان تنفس و تبخیر رطوبت بین بافت میوه و هوای اطراف را منعکس می‌کند. محلول‌پاشی GSH روی سطح میوه باعث کاهش تلفات تعرق می‌شود و به‌عنوان مانع عمل می کند. پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی میوه های توت‌فرنگی با تخریب لایه میانی و کاهش پکتین در طی نگهداری پس از برداشت نرم تر می‌شوند. طبق یافته‌های ما، هر چه میوه‌ها بیشتر در انبار نگهداری شوند، وزن میوه‌ها بیشتر کاهش می‌یابد و این نشان می‌دهد که عامل زمان نگهداری رابطه مستقیمی با کاهش وزن میوه‌ها دارد که می‌تواند ناشی از افزایش تنفس و از دست دادن آب میوه باشد. در حقیقت یکی از ویژگی‌های بسیار مهم برای ارزیابی کیفیت محصول کاهش وزن است که به میزان تعرق و تنفس میوه مربوط می شود. میوه توت‌فرنگی به‌دلیل داشتن پوست نازک مستعد از دست دادن آب است. این امر بر بازارپسندی محصول اثر منفی می‌گذارد و باعث نرم شدن بافت، تغییر رنگ و طعم میوه، تسریع روند پیری، رشد عوامل بیماری‌زا و سرمازدگی می‌شود (De Bruno *et al.*, 2023). لی و همکاران (Li *et al.*, 2023) گزارش کردند که GSH از کاهش وزن بیشتر در بامیه جلوگیری می کند که نتایج ما با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. جلوگیری از کاهش وزن میوه توسط GSH می‌تواند به‌دلیل کاهش و حذف رادیکال‌های آزاد و کاهش تنفس باشد.

ظرفیت آنتی اکسیدانی

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون در سطح احتمال ۵ درصدی اثر معنی‌داری بر میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا داشت (جدول ۱). بالاترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار ۱۶ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۴ A) همچنین مدت زمان انبارمانی و برهمکنش بین تیمار و مدت انبارمانی اثر معنی‌داری بر میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها نداشتند. آنتی اکسیدان‌ها باعث جلوگیری از اکسیداسیون‌های مولکول‌های زیستی سلول‌ها مانند لیپیدها، پروتئین و DNA ها و کربوهیدرات‌ها می‌شوند (Dar *et al.*, 2015) . یکی از آسیب‌های مهم بافتی که ممکن است در اثر قرار گرفتن گیاهان در معرض تنش‌ها رخ دهد، افزایش تولید گونه‌های اکسیژن آزاد می‌باشد. تجمع بیش از حد ROS باعث کاهش سیالیت غشا، انتقال یونی، فعالیت آنزیمی و سنتز پروتئین‌ها می‌شود و در نهایت مرگ سلولی را به همراه خواهد داشت (Ranjbar Malidarreh *et al.*, 2019). به‌طور کلی افزایش ظرفیت و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ارتباط مستقیمی با افزایش مدت زمان انبارمانی دارد (Sowmyashree *et al.*, 2021). ال-گلوتاتیون همواره نقش مهمی در سیستم آنتی‌اکسیدانی سلول داشته است، ما نیز در یافته‌های خود به این نتیجه رسیدیم که ال-گلوتاتیون نقش آنتی‌اکسیدانی را در سلول ایفا می‌کند. در یک مطالعه‌ی قبلی گزارش شده است که کاربرد ال-گلوتاتیون پس از برداشت روی میوه‌های توت فرنگی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آنها را از طریق افزایش محتوای آنتی‌اکسیدانی درون زا بهبود بخشید (Ge *et al.*, 2019).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر زمان انبارمانی (A) و تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون (B) بر درصد کاهش وزن میوه توت‌فرنگی سابرینا در طول ۱۵ روز انبارمانی

Fig. 3. Comparison of the mean effect of storage time (A) and L-glutathione post-harvest treatment (B) on the weight loss percentage of Sabrina strawberry fruit during 15 days of storage

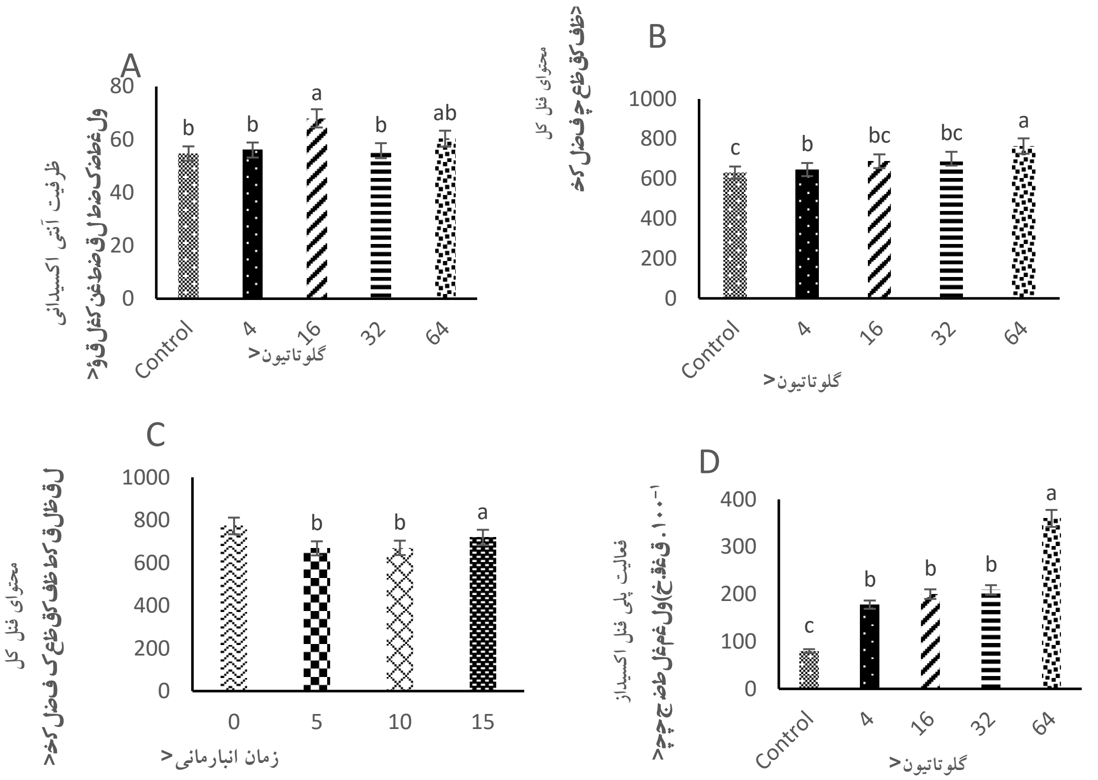
محتوای فنل کل

بر اساس نتایج جدول واریانس، تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون و مدت انبارمانی به‌ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد اثر معنی‌داری بر محتوای فنل کل میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا داشتند (جدول ۱). البته برهمکنش میان تیمار و مدت انبارمانی اثر معنی‌داری بر محتوای فنل کل میوه‌ها نداشت. بالاترین میزان محتوای فنل کل با تیمار ۶۴ میلی‌مولار (شکل ۴ B) و روز ۱۵ (شکل ۴ C) همراه بود. توت‌فرنگی از جمله میوه‌هایی است که مجهز به انواع سیستم‌های ضد اکسایشی غیر آنزیمی مانند ویتامین ث، ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها و سایر متابولیت‌های ثانویه می‌باشد (Aminifard *et al.*, 2013). ترکیبات فنلی توانایی از بین بردن رادیکال‌های آزاد را دارند و با سرکوب شروع یا انتشار واکنش‌های زنجیره‌ای اکسید کننده، فرآیند اکسیداسیون لیپید را به تأخیر بیندازند. علاوه بر این، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها با محتوای فنلی ارتباط مستقیمی دارد (Xu *et al.*, 2021). ترکیبات فنلی از جمله متابولیسم‌های ثانویه گیاه می‌باشند که نقش عمده‌ای در تنظیم رشد و گسترش گیاه دارند و به‌عنوان آنتی‌اکسیدان قوی در بافت‌های گیاهی تحت تنش‌های مختلف به وجود می‌آید (Ali & Ismail, 2014). با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان به این نتیجه رسید که میان محتوای فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی رابطه مستقیم وجود دارد و افزایش محتوای فنل کل باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌گردد. لی و همکاران (Li *et al.*, 2023) گزارش کرده‌اند که کاربرد پس از برداشت گلوتاتیون در بامیه باعث افزایش سطح فنل کل شده که می‌تواند عمر پس از برداشت بامیه در سردخانه را افزایش دهد. نتایج ما با گزارش لی و همکاران (Li *et al.*, 2023) مطابقت دارد.

آنزیم پلی‌فنل اکسیداز

بر اساس نتایج جدول واریانس، تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی‌داری بر میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز گذاشته است (جدول ۱). البته مدت زمان انبارمانی و برهمکنش میان تیمار و مدت زمان انبارمانی اثر معنی‌داری بر میزان فعالیت این آنزیم نداشته است. بالاترین میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در تیمار ۶۴ میلی‌مولار مشاهده گردید (شکل ۴ D). مکانیسم‌های مختلفی جهت مقابله با گونه‌های فعال اکسیژن در موجودات زنده یافت شده است که یکی از مهمترین آنها سیستم آنزیمی آنتی‌اکسیدانی است. گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو از طریق تولید آنزیم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی پاسخ داده و از تخریب بیشتر سلول‌ها جلوگیری می‌کنند (Van & Clijsters, 1990; Prassad, 1997). آسیب‌هایی که به بافت محصولات کشاورزی وارد می‌شود مانند پوست کندن، خرد شدن و ... باعث آزاد شدن PPO از بافت می‌شود. هنگامی که مواد شیمیایی فنلی در معرض این آنزیم قرار می‌گیرند، قهوه‌ای شدن آنزیمی اتفاق می‌افتد. در نهایت، در نتیجه این واکنش، رنگدانه‌های قهوه‌ای آلی و نامحلول به نام ملانین تشکیل می‌شود (AL-abbasy *et al.*, 2021). پلی‌فنل اکسیداز به مانند آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز در مسیر فنیل پروپانوئید (مسیر تولید متابولیت‌های ثانویه که در تولید انواع ترکیبات فنولی با ساختار دفاعی نقش ویژه‌ای ایفا می‌کنند، درگیر هستند

(Ryalls *et al.*, 1996). بنابراین آنزیم PPO نقش ویژه‌ای را در دفاع برابر پوسیدگی‌های قارچی ایفا می‌نماید (Yang *et al.*, 2011).



شکل ٤- مقایسه میانگین اثر تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (A)، محتوای فنل کل (B) و مقایسه میانگین اثر مدت زمان انبارمانی بر محتوای فنل کل (C) و مقایسه میانگین اثر تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون بر میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (D) میوه توت‌فرنگی سابرینا در طول ۱۵ روز انبارمانی

Fig. 4. Comparison of the mean effect of post-harvest L-glutathione treatment on antioxidant capacity (A), total phenol content (B) and comparison of the mean effect of storage time on total phenol content (C) and comparison of the mean effect of post-harvest treatment L-glutathione on the amount of polyphenol oxidase (D) enzyme activity of Sabrina strawberry fruit during 15 days of storage

نتیجه‌گیری

این تحقیق به بررسی شاخص‌های کیفی و کمی توت‌فرنگی تیمار شده با گلوتاتیون در طی نگهداری سرد پرداخت. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون تأثیر مثبتی در حفظ صفات کیفی میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا در طی دوره ۱۵ روزه انبارمانی داشت، به‌طوری‌که باعث افزایش میزان اسیدیته قابل تیتراسیون، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنل کل و فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز شده و همچنین با حفظ یکپارچگی غشای سلولی از طریق کاهش رادیکال‌های آزاد به‌وسیله ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدانی و تحریک مسیر فعال فنیل‌پروپانوئید از کاهش وزن میوه‌ها جلوگیری کرد. همچنین اثر متقابل بین تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون و مدت زمان انبارمانی باعث افزایش محتوای مواد جامد محلول گردید.

این پژوهش نشان داد که ما می‌توانیم از تیمار ال-گلوتاتیون به‌عنوان یک تیمار و روش مفید جهت حفظ خصوصیات کیفی و همچنین افزایش ماندگاری میوه توت‌فرنگی و سایر میوه‌ها و سبزیجات طی انبارمانی در سردخانه استفاده نمائیم. البته نیاز به بررسی بیشتر می‌باشد.

میزان مشارکت نویسندگان

کریم مداحکی: مفهوم‌سازی، مدیریت داده‌ها، تأمین مالی، تحقیق و بررسی، منابع، اعتبارسنجی، تجسم، نوشتن-پیش نویس اصلی، **حمید حسن‌پور:** تحلیل رسمی، روش‌شناسی، مدیریت پروژه، نرم‌افزار، نظارت، نوشتن- بررسی و ویرایش

منابع تأمین مالی

بخشی از این پروژه تحت حمایت مالی دانشگاه ارومیه قرار گرفت.

سپاسگزاری

از تمامی کسانی که در این پروژه همراه ما بودند علی‌الخصوص مسئولین آزمایشگاه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه تقدیر و تشکر می‌نمائیم.

References

1. Aghdam, M.S., Moradi, M., Razavi, F., & Rabiei, V. (2019). Exogenous phenylalanine application promotes chilling tolerance in tomato fruits during cold storage by ensuring supply of NADPH for activation of ROS scavenging systems. *Scientia Horticulturae*, *246*, 818–25. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.074
2. Akhtar, A., Abbasi, N.A., & Hussain, A. (2010). Effect of calcium chloride treatments on quality characteristics of loguat fruit during storage. *Pakistan Journal of Botany*, *42*, 181–188. https://doi.org/10.22059/ijhst.2015.54260
3. Akhond, M., Heidarizadeh, F., & Kolahi, M. (2022). Comparative study of qualitative and chemical characteristics of Camarosa and Parus strawberry cultivars during 15 days of storage. *Developmental Biology*, *14*(2), 43-52. https://www.magiran.com/p2456873
4. AL-abbasy, O. Y., Ali, W. I. & Al-lehebe, N. I. (2021). Inhibition of enzymatic browning in fruit and vegetable, review. *Samarra Journal of Pure and Applied Science*, *3*(1), 56–73.
5. Ali, H.E.M., & Ismail, G.S.M. (2014). Tomato fruit quality as influenced by salinity and nitric oxide. *Turkish Journal of Botany*, *38*(1), 122-129. https://doi.org/10.3906/bot-1210-44
6. Aminifard, M., Aroiee, H., Azizi, M., Nemati, H., & Jaafar, H. (2013). Effect of compost on antioxidant components and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Central European Agriculture*, *14*(2), 525-534. https://doi.org/10.5513/JCEA01/14.2.1232
7. Baldwin, A., Dhorajiwala, R., Roberts, C., Dimitrova, S., Tu, S., Jones, S., Ludluw, R.A., Cammarisano, L., Davoli, D., Andrews, R., Kent, N.A., Spadafora, N.D., Muller, C.T., & Rogers, H.J. (2023). Storage of halved strawberry fruits affects aroma, phytochemical content and gene expression, and is affected by pre-harvest factors. *Plant Science*, *14*, 1165056. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1165056
8. Bishop, G., Styles, D., & Lens, P.N.L. (2021). Environmental performance of bioplastic packaging on fresh food produce: a consequential life cycle assessment. *Journal Clean Prod*. *317*, 128377. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128377
9. Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*, 248-254. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999
10. Brizzolara, S., Manganaris, G.A., Fotopoulos, V., Watkins, C.B., & Tonutti, P. (2020). Primary metabolism in fresh fruits during storage. *Front Plant Science*, *11*, 1–16. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00080
11. Chang, L., Xu, L., Yang, Z., Liu, L., & Qiu, D. (2023). Antibacterial and antioxidative biogenic films for room-temperature strawberry preservation. *Food Chemistry*. *405*, 134983. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134893
12. Dar, T.A., Uddin, M., Khan, M.M.A., Hakeem, K.R., & Jaleel, H. (2015). Jasmonates counter plant stress: A review. *Environmental and Experimental Botany*, *115*, 49–57. http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.02.010
13. Davarpanah, J., Kiasat, A.R., Noorizadeh, S., & Ghahremani M. (2013). Nano magnetic double-charged diazoniabicyclo [2.2.2] octane dichloride silica hybrid: Synthesis, characterization, and application as an efficient and reusable organic–inorganic hybrid silica with ionic liquid framework for one-pot synthesis of pyran annulated heterocyclic compounds in water. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, *376*, 78–89. https://doi.org/10.1016/j.molcata.2013.04.020
14. De Bruno, A., Gattuso, A., Ritorto, D., Piscopo, A., & Poiana, M. (2023). Effect of edible coating enriched with naturpal antioxidant extract and Bergamot essential oil on the shelf life of strawberries. *Foods*, *12*(3), 488. https://doi.org/10.3390/foods12030488
15. Diaz-Vivancos, P., de Simone, A., Kiddle, G., & Foyer, CH. (2015). Glutathione-linking cell proliferation to oxidative stress. *Free Radical Biology and Medicine*, *89*, 1154–1164. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2015.09.023
16. Drobek, M., Frąc, M., & Cybulska, J. (2019). Plant biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress. A review. *Agronomy*, *9*, 335. https://doi.org/10.3390/agronomy9060335
17. Du, G., Li, M., Ma, F., & Liang, D. (2009). Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in Actinidia fruits. *Food Chemistry, 113,* 557-562. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.025

18. Erkan, M., & Selcuk, N. (2015). The effects of 1-MCP treatment on fruit quality of medlar fruit (*Mespilus germanica* L. cv. Istanbul) during long term storage in the palliflex storage system. *Postharvest Biology and Technology*, *100*, 81–90. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.018
19. Ge, C., Luo, Y., Mo, F., Xiao, Y.H., Li, N.Y., & Tang, H.R. (2019). Effects of glutathione on the ripening quality of strawberry fruits. *AIP Conference Proceedings*, *2079*, 020013. https://doi.org/10.1063/1.5092391
20. Getenit, H., Seyoum, T., & Woldetsdik, K. (2008). The effect of cultivar, maturity stage and storage environment on quality of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, *87*, 467-498. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng. 2007.12.031
21. Gohari, G., Molaei, S., Kheiry, A., Ghafouri, M., Razavi, F., Lorenzo, J.M., & Juárez-Maldonado, A. (2021). Exogenous application of proline and L-cysteine alleviates internal browning and maintains eating quality of cold stored flat 'maleki'peach fruits. *Horticulturae*, *7*(11), 469. https://doi.org/10.3390/horticulturae7110469
22. Hazbavi, L., Khoshtaghaza, M.H., Mostaan, A., & Banakar, A. (2013). Effect of postharvest hot-water and heat treatment on quality of date palm (cv. *Stamaran*). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *14*, 53-159. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.10.003
23. Holler, M., Alberdi-Cedeno, J., Aunon-Lopez, A., Pointner, T., Martínez-Yusta, A., Konig, J., & Pignitter, M. (2023). Polylactic acid as a promising sustainable plastic packaging for edible oils. *Food Packaging and Shelf Life*, *36*(101051). https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101051
24. Hu, H., Wang, L., Wang, Q., Jiao, L., Hua, W., Zhou, Q., & Huang, X. (2014). Photosynthesis, chlorophyll fluorescence characteristics, and chlorophyll content of soybean seedlings under combined stress of bisphenol A and cadmium. *Environmental Toxicology and Chemistry*, *33*, 2455–2462. https://doi.org/10.1002/etc.2720
25. Jalili Marandi, R. (2013). *Postharvest Physiology (handling and storage of fruits, vegetables, ornamental plants and medicinal plants)*. 4 nd Ed., Jihad University Press, West Azerbaijan Branch, 624 P. (In Persian)
26. Jalili Marandi, R. (2016). *Small fruits*. Urmia Academic Jahad Publications. (In Persian)
27. Kahramanoglu, I. (2019). Effects of lemongrass oil application and modified atmosphere packaging on the postharvest life and quality of strawberry fruits. *Science Horticultural*, *256*, 108527. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.054
28. Keshavarz Afshar, F. (2017). Postharvest effects of phenylalanine, sodium hydrosulfide, and hydrogen sulfide on the biochemical and antioxidant properties of Meles Saveh pomegranate fruit during cold storage. Master thesis of Zanjan University Faculty of Agriculture. 90 pages.
29. Kuzniak, E., & SkLodowska, M. (2004). Differential implication of glutathione, glutathione-metabolizing enzymes and ascorbate in tomato resistance to pseudomonas syringae. *Journal Phytopathology*, *152*(10), 529–536. https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2004.00884.x
30. Treviño Garza, M.Z., García, S., Del Socorro Flores González, M., & Arévalo Niño, K. (2015). Edible active coatings based on pectin, pullulan, and chitosan increase quality and shelf life of strawberries (*Fragaria ananassa*). *Journal of Food Sciences*, *80*(8), 1823-1830. https://doi.org/10.1111/1750-3841.12938
31. Li, X., Bao, Z., Chen, Y., Lan, Q., Song, C., Shi, L., Chen, W., Gao, S., Yang, Z., & Zheng, Q. (2023). Exogenous glutathione modulates redox homeostasis in okra (*Abelmoschus esculentus*) during storage. *Postharvest Biology and Technology*, *195*, 11245. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112145
32. Li, Z.G., Xu, Z.C., & Su, Y.S. (2010). Research progress in plant glutathione. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, *22*, 118-121.
33. Meng, X., Li, B., Liu, J., & Tina, S. (2007). Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage. *Food Chemistry*, *106*, 501-508. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.012
34. Nakajima, J.I., Tanaka, I., Seo, S., Yamazaki, M., & Saito, K. (2004). LC/PDA/ESI-MS profiling and radical scavenging activity of anthocyanins in various berries. *Biomed Research International*, 241-247. https://doi.org/10.1155/S1110724304404045
35. Pathare, P.B., Opara, L.U., & Al-Said, A.F. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed food: A review. *Food Bioprocess Technology*, *6*(1), 36-60. https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9
36. Pelayo-Zaldivar, C., Ebeler, S.E., & Kader, A. (2005). Cultiver and harvest date effect on flavor and other quality attributes of California strawberries. *Journal of Food Quality*, *28*, 78-97. https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2005.00005.x
37. Pizzocaro, F., Torreggiani, D., & Gilardi, G. (1993). Inhibition of apple polyphenoloxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium chloride. *Journal of Food Processing and Preservation*, *17*, 21 30. https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1993.tb00223.x
38. Pott, D.M., Osorio, S., & Vallarino, J.G. (2019). From central to specialized metabolism: An overview of some secondary compounds derived from the primary metabolism for their role in conferring nutritional and organoleptic characteristics to fruit. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 835. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00835

39. Ramzan, M., Aslam, M.N., Akram, S., Shah, A.A., Danish, S., Islam, W., Mustafa, A.E.M.A., Al-Ghamdi, A.A., & Alajmi, A.H. (2020). Exogenous glutathione revealed protection to bacterial spot disease: Modulation of photosystem II and H_2O_2 scavenging antioxidant enzyme system in *Capsicum annum* L. *Journal of King Saud University – Science*, *33*, 101223. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.10.020
40. Ranjbar Malidarreh, T., Askari Sarcheshmeh, M.A., Babalar, M., Shokri Heydari, H., & Ahmadi, A. (2019). Changes in some physiological and biochemical characteristics of plum (*Prunus salicina* cv. Flavor supreme pluot) affected by salicylic acid and iron pretreatment during storage with two different temperatures. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *55*(3), 525-539. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijhs.2019.278214.1620
41. Ren, H., Yang, G., Feng, E. X., He, S., & Huang, Q. (2023). First report of mucorinaequisporus dade (Mucorales, Mucoromycota) causing postharvest rot ofstrawberry fruit in Kunming, China. *Plant Disease*, *107*(1), 2241. https://doi.org/10.1094/PDIS-09-22-2262-PDN
42. Ryalls, J., Neuenschwander, U., Willits, M., Molina, A., Steiner, H.Y., & Hunt, M. (1996). Systemic acquired resistance. *The Plant Cell*, *8*, 1809–1819. https://doi.org/10.1105/tpc.8.10.1809
43. Sowmyashree, A., Sharma, R., Rudra, S.G., & Grover, M. (2021). Layer-by-Layer coating of hydrocolloids and mixed plant extract reduces fruit decay and improves postharvest life of nectarine fruits during cold storage. *Acta Physiologiae Plantarum*, *43*(8), 112. https://doi.org/10.1007/s11738-021-03256-8
44. Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I., & Murphy, A. (2017). Physiology and plant development. *Porto Alegre*: Artmed. 858. https://doi.org/10.1093/aob/mcg079
45. Vallarino, J.G., de Abreu e Lima, F., Soria, C., Tong, H., Pott, D.M., Willmitzer, L., Fernie, A.R., Nikoloski, Z., & Osorio, S. (2018). Genetic diversity of strawberry germplasm using metabolomic biomarkers. *Scientific Reports*, *8*, 14386. https://doi.org/10.1038/s41598-018-32212-9
46. Van Assche, F., & Clijsters, H. (1990). Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant Cell Environ*, *13*, 195–206. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1990.tb01304.x
47. Xu, D.Y., Zuo, J.Y., Fang, Y.L., Yan, Z.C., Shi, J.Y., Gao, L.P., Wang, Q., & Jiang, A.L. (2021). Effect of folic acid on the postharvest physiology of broccoli during storage. *Food Chemistry*, *339*, 127981. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127981
48. Yan, J., Luo, Z., Ban, Z., Lu, H., Li, D., Yang, D., & Li, L. (2019). The effect of the layer bylayer (LBL) edible coating on strawberry quality and metabolites during storage. *Postharvest Biology and Technology*, *147*, 29–38. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.002
49. Yang, Z., Cao, S., Cai, Y., & Zheng, Y. (2011). Combination of salicylic acid and ultrasound to control postharvest blue mold caused by *Penicillium expansum* in peach fruit. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *12*, 310-314. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.04.010
50. Yao, M., Ge, W., Zhou, Q., Zhou, X., Luo, M., Zhao, Y., Wei, B., & Ji, S. (2021). Exogenous glutathione alleviates chilling injury in postharvest bell pepper by modulating the ascorbate-glutathione (AsA-GSH) cycle. *Food Chemistry*, *352*, 129458. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129458